บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและงานที่จะดำเนินการต่อไป

5.1 สรุปผลการศึกษาปีที่ 1 "การใช้กระบวนการเมมเบรนเพื่อแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทน"

เมมเบรนที่เตรียมขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทนในระบบแก๊สชีวภาพ ประกอบด้วย 5 ชนิด ดังนี้

1) เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน
2) เมมเบรนไม่เชื่อมขวางไคโตซาน
3) เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์
4) เมมเบรนไม่เชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์
5) เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์ที่บวมตัวด้วยน้ำ

ไคโตซานที่ใช้ในการเตรียมเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 9.5×10^5 ดอลตัน และร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิลเท่ากับ 90±5 ซีโอไลต์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นซีโอไลต์เอมีขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 2551.6 อังสตรอม, 13.9 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.0137 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

การเชื่อมขวางเมมเบรนโดยสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านแก๊สลดลง แต่ค่าเลือกสรรคู่แก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเชื่อมขวางเมมเบรนจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง โมเลกุลของแก๊สจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้น้อยลง อีกทั้งการเชื่อมขวางเมมเบรนยังมีความสามารถในการทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วย

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ค่าการซึมผ่านแก๊สเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเลือกสรรคู่แก๊สลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ปริมาตรอิสระจึงเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น

การเพิ่มขึ้นของความดันส่งผลให้ค่าการซึมผ่านแก๊สเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเลือกสรรคู่แก๊สลดลง เนื่องจากในกระบวนการแยกแก๊สด้วยเมมเบรนมีความดันย่อยเป็นแรงขับ ดังนั้นความดันที่เพิ่มขึ้น จะทำให้โมเลกุลของแก๊สสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้ง่ายขึ้น

การเติมซีโอไลต์ในเมมเบรนไคโตซาน ส่งผลต่อสมบัติของเมมเบรนดังนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณซีโอไลต์ในเมมเบรนส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรนเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลน้ำไว้ภายในโพรงได้ดี และค่าการเลือกสรรคู่แก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากความมีขั้วของซีโอไลต์สามารถดึงดูดให้โมเลกุลของแก๊สอยู่ภายในโพรงของซีโอไลต์ได้

ในขณะที่ความสามารถในการทนต่อแรงดึงลดลง เนื่องจากจะไปทำให้เกิดรอยแยกที่ผิวสัมผัสระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์และพื้นผิวซีโอไลต์ และค่าการซึมผ่านแก๊สลดลง เนื่องจากเส้นทางที่โมเลกุลแก๊สสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

จากผลของการศึกษาในส่วนนี้สรุปได้ว่า เมมเบรนที่มีศักยภาพมากที่สุดคือเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักไคโตซาน โดยมีสมรรถนะการแยกที่น่าสนใจ ดังนี้

Parameter	Dry membrane/dry gas		Swollen membrane/wet gas	
	30°C	60°C	30°C	60°C
CO_2 permeability, barrer	66.8±6.4	272.9±5.6	788.0±17.8	872.1±33.7
CH_4 permeability, barrer	4.0±0.6	7.8±0.6	20.6±2.2	23.7±1.0
H_2 permeability, barrer	387.5±26.1	553.0±54.4	2102.1±31.8	2244.6±82.2
N_2 permeability, barrer	7.4±0.6	11.8±0.9	33.7±0.9	37.4±2.1
CO_2/CH_4 selectivity	16.5±1.6	35.0±1.0	38.2±0.2	36.9±1.7
H_2/CH_4 selectivity	96.9±1.5	93.7±16.1	101.9±0.3	94.9±6.2
N_2/CH_4 selectivity	1.9±0.1	1.8±0.2	1.6±0.1	1.7±0.1

ผลการศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรน 2 ชนิด คือเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน และเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จากระบบบ่อแก๊สชีวภาพของฟาร์มสุกรกรณีศึกษา ณ ตำแหน่งที่ 1 (ตำแหน่งที่แก๊สชีวภาพออกมาจากบ่อหมัก) และตำแหน่งที่ 2 (ตำแหน่งที่แก๊สชีวภาพผ่านหอกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) สรุปประเด็นได้ดังต่อไปนี้

ก) เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าสมรรถนะการแยกแก๊สสูงกว่าเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซานสอดคล้องกับสมรรถนะการแยกอุดมคติ

ข) ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรแก๊สของเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน–ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จากระบบบ่อแก๊สชีวภาพของ

ฟาร์มสุกรกรณีศึกษาสอดคล้องกับสมรรถนะการแยกอุดมคติจากเมมเบรนแห้ง/แก๊สแห้ง

ค) เมื่อใช้เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน ณ ตำแหน่งที่ 1 ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 23.4±0.7 เป็น 10.5±1.3 และ ณ ตำแหน่งที่ 2 จากร้อยละ 18.8±1.2 เป็น 7.2±2.9

ง) เมื่อใช้เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ณ ตำแหน่งที่ 1 ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 23.4±0.7 เป็น 5.1±0.3 และ ณ ตำแหน่งที่ 2 จากร้อยละ 18.8±1.2 เป็น 3.4±0.5

5.2 งานที่จะดำเนินการต่อไปในปีที่ 2 "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพถังหมัก"

การศึกษา "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพถังหมัก" ของงานปีที่ 2 ได้ดำเนินการแล้ว คือออกแบบและสร้างถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแยก 2 ขั้นตอน ในหน่วยเดียวกัน โดยมีระยะเวลาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis), ปฏิกิริยาสร้างกรด (Acidogenesis) และปฏิกิริยาสร้างกรดแอซีติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) ในส่วนที่ 1 ของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 2 วัน และมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสร้างแก๊สมีเทน (Methanogenesis) ในส่วนที่ 2 ของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 9 วัน

งานที่จะดำเนินการต่อไป คือทดลองย่อยสลายมูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด 5, 10 และ 20% โดยมีสมมติฐานคือ ระบบเทคโนโลยีสะอาดสามารถลดการใช้น้ำในฟาร์มสุกรได้ และความเข้มข้นของปฏิกูลสุกรมีผลต่อปริมาณการเกิดแก๊สมีเทน